引用格式:李明, 刘勤, 王玉宽, 等. 构建山区综合减灾与特色产业协同模式,助力我国山区高质量发展. 中国科学院院刊, 2023, 38(12): 1818-1832, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230925001.
Li M, Liu Q, Wang Y K, et al. Synthetical solution of disaster risk reduction and green development: A novel mode promoting high-quality development in mountain areas of China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(12): 1818-1832, doi: 10.16418/j. issn. 1000-3045.20230925001. (in Chinese)

构建山区综合减灾与特色产业协同模式，助力我国山区高质量发展

李 明[1] 刘 勤[1] 王玉宽[1] 崔 鹏[2,3*] 高 星[2] 第宝锋[4] 柳金峰[1] 祁生文[5] 陈 容[1] 谭春萍[4] 徐梦珍[6] 孙 昊[1] 张建强[1] 陈剑刚[1] 邹 强[1]

1 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610299
2 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101
3 中国—巴基斯坦地球科学研究中心 成都 610299
4 四川大学—香港理工大学 灾后重建与管理学院 成都 610207
5 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029
6 清华大学 水利水电工程系 北京 100084

摘要 我国山地灾害易发区与经济社会发展滞后区的空间范围高度重叠，长期以来形成的减灾与发展间的疏离和脱节问题，造成极大的资源浪费，成为制约2035年山区同步迈向现代化的关键障碍。文章在系统梳理山区综合减灾与产业发展面临的主要挑战基础之上，基于人地协调论思想创新发展易灾山区的“灾—地—人”绿色协同理论，提出综合减灾与特色产业协同发展的新理念和新模式，剖析了该模式的内外部协同机制、主要协同路径和关键协同技术；系统介绍了四川省凉山彝族自治州喜德县红莫镇热水河小流域综合减灾与产业发展协同示范区建设成果；讨论了在全国山区推广综合减灾与产业发展协同模式的必要性、可行性及具体路径。成果可用于指导我国广大山区巩固脱贫攻坚成效，全面推进乡村振兴战略实践，也有助于提高山区的统筹与治理能力，支撑山区现代化建设。

关键词 山区，减灾，生态减灾措施，减贫，可持续发展

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230925001
CSTR 32128.14.CASbulletin.20230925001

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA23090000），中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所科研项目（IMHE-ZDRW-08），四川省科技厅自然科学基金项目（2022JDR0209）
修改稿收到日期：2023年11月17日

我国是世界山地大国，山地约占我国陆地国土总面积的64.9%，承载着约3.3亿常住人口，也是绝大多数少数民族的世居地[1,2]。山区广袤的国土面积、庞大的人口数量、丰富的自然资源、厚重的历史文化积淀与巨大的发展潜力，使之成为支撑全国经济社会可持续发展最重要的“后花园”，同时山区的战略地位也尤为关键[2]。然而，山区特有的能量梯度特征，叠加近年来人类活动加剧、极端天气气候事件增加等诸多因素，导致以滑坡、泥石流、山洪和干旱等为代表的自然灾害呈大范围、高频率、大规模等新的活动特点与致灾特征情况出现，既威胁山区生态、环境与民生安全，还造成山区居民因灾致贫、因灾返贫[3]，成为阻碍山区可持续发展的主要原因，也使得资源富集的山区反而成为全国经济社会发展相对滞后的区域[4]。

因此，减轻山区灾害风险将成为构建山区人与自然和谐共享格局、实现经济社会可持续发展的基本保障[5]。我国政府十分重视防灾减灾工作，专门成立了统领防灾减灾建设的国家减灾委员会，并整合多个国家部委职责组建应急管理部，为我国应对复杂灾害问题、提升防灾减灾能力提供了高效的组织保障。我国还创新防灾减灾指导思想，提出了“两个坚持、三个转变”的新时代防灾减灾救灾工作基本方针。近年来，我国防灾减灾科学迅猛发展，衍生出一系列自然灾害风险协同管理的新思路与新理念[6-8]，促使对自然灾害的监测预警、综合治理、应急处置和基层防灾能力显著提升。据自然资源部统计，2022年，全国共成功预报各类地质灾害905起，避免了2.5万余人因灾伤亡的可能；“十三五”期间因山地灾害造成的人员伤亡比“十一五”期间减少了77.4%，成功保障了山区人民的安全[9]。在城乡统筹发展、土地流转和脱贫攻坚等一系列政策的强力支持下，新时代我国山区的经济社会发展事业亦取得了诸多历史性成就。脱贫攻坚取得了历史性胜利，实现全面小康的根本性变化；基础设施快速发展，生产生活条件显著提升；产业结构显著优化，现代化进程稳步推进[9]。

尽管我国山区的防灾减灾能力与经济社会发展水平取得了历史性突破，但我国自然灾害易发多发频发的基本国情依然存在，自然灾害高风险区与经济社会发展滞后区的空间范围高度重叠，广大山区面临减灾与发展双重压力，极为严峻的现实困境仍然没有发生明显变化。长期脱贫攻坚实践中，因灾致贫、因灾返贫问题引发了诸多学者的广泛关注[3,10,11]，亦有学者从地理协同论这一全新视角探究综合灾害风险防范，并给出了实现“人—地协同”的范式与路径[12,13]。然而，无论是从体制机制上还是意识形态上，均未从根本上实现将防灾减灾与以扶贫减贫为代表的区域经济社会发展事业相统筹[11]，导致灾害中高风险地区发生因灾规模性返贫的风险仍然较高[10]。到2035年基本实现社会主义现代化，是我国全面建成小康社会、实现第一个百年奋斗目标之后，向第二个百年奋斗目标进军的关键一步，我国广大山区要实现这一目标面临极大挑战。

基于以上分析，本文针对我国山区长期存在的灾害风险管理与经济社会发展之间疏离和脱节问题，系统梳理当前灾害风险综合调控与山区经济社会发展面临的主要挑战，提出山区综合减灾与特色产业发展协同新理念；并以四川省凉山彝族自治州喜德县红莫镇热水河流域为例，系统剖析全国首个综合减灾与产业发展协同示范基地建设情况；最后尝试提出在全国山区推广综合减灾与特色产业协同模式的具体路径。希望相关研究成果对我国广大山区巩固脱贫攻坚成效、全面推进乡村振兴提供直接参考，也有助于提高山区的统筹与治理能力，支撑山区安全与高质量发展。

1 山区综合减灾与产业发展面临的主要挑战

自然灾害易发多发频发是我国的基本国情之一。 我国是世界上自然灾害最严重的国家之一，其灾史之长、灾域之广、灾种之多、灾情之重是世界罕见的[3]。

以山地灾害为例，我国绝大部分山区均不同程度遭受过以山洪、泥石流和滑坡为代表的山地灾害影响（图1），并且部分山地灾害呈链发性和群发性特点[14]，造成严重损失。例如，2013年四川特大暴雨灾害事件发生，汶川等12个县（市）出现群发性山洪泥石流滑坡灾害，造成200余人死亡失踪，30%—40%房屋受损，2.8万亩耕地灭失，大量基础设施受损，直接经济损失400多亿元。2020年6月26日，四川省凉山彝族自治州冕宁县北部山区暴发大规模山洪泥石流，2 100户共9 880多人受灾、22人遇难，1.5万亩农作物受灾，174户共661间房屋严重倒塌，大量基础设施及特色产业遭到严重破坏，直接经济损失7.38亿元；在本次灾害中，87户已建档立卡的贫困户受灾严重，涉及贫困人口417人，家庭资产损失353万元。

山区减灾亟待突破传统上以岩土工程措施为主的防灾减灾理念，构建致灾风险绿色调控技术与模式，支撑山区绿色发展。现有以工程措施为主的防灾减灾体系虽然在减轻灾害损失方面成效显著，但岩土工程的设计与布局往往较少考虑气候变化和生态环境要素的影响和作用，进而导致工程措施减灾效益受岩土工程寿命制约，严重影响减灾效益的持续发挥，而生态工程措施的减灾效益持续性随着时间增加而增强，很好弥补了岩土工程措施的不足。因此，迫切需要在科学认知灾害形成与致灾机理的基础上，将生态工程措施与岩土工程措施科学配置、充分发挥各自减灾效益，形成科学、高效的风险防范技术与模式，以便整体提升减灾措施的防灾减灾能力，促进区域生态环境好转，满足服务“生态文明”和“美丽中国”建设的国家需求。

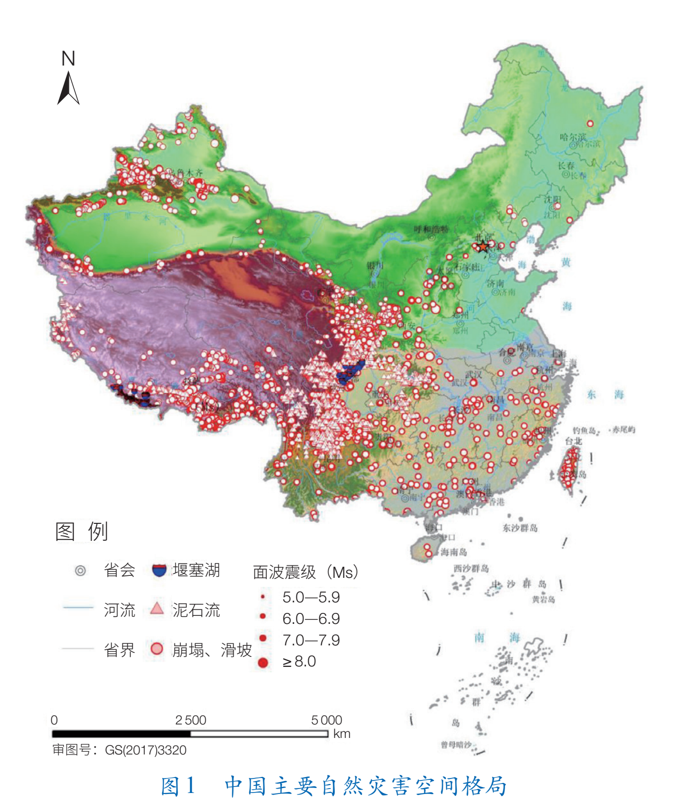


图1　中国主要自然灾害空间格局

Figure 1　Spatial pattern of major natural disasters in China

山区特色产业发展相对滞后，且未能与防灾减灾需求密切结合，成为制约山区经济社会高质量发展的主要障碍。脱贫攻坚期间布局的产业项目绝大部分集中在具有相对资源优势的传统种养农业领域，并且大多参照周边区域的种养品类和经营模式，而具备地域特色和高附加值的优势产业并未得到充分发展，导致产品同质化、市场价格偏低、销售困难等诸多问题，使得农户增产不增收，农业生产积极性受到打击。一些地方的村集体经济薄弱，扶贫资金投入小而散，前期培育的特色产业和拳头产品多少带有短期性特征，致使产业难以做大做强。对特色产业的规划布局通常较少考虑面向全流域的防灾减灾需求，导致产业发展应对各类自然灾害的韧性不足，也对全流域防灾减灾缺乏实质性贡献。

综合减灾与特色产业发展之间长期疏离脱节，造成资源极大浪费，亟待探索两者间的协同机制与模式。受我国自然灾害易发多发频发的基本地理国情影响，保安全与促发展成为全国绝大部分山区面临的共性任务，尤其防灾减灾救灾作为山区保安全的主要内容，往往占用大量人力物力财力等资源，严重阻碍了促发展目标的实现。以森林火灾和山地灾害中高风险的四川省凉山彝族自治州为例，各级地方政府基本上处于“上半年防火，下半年防汛”的工作状态，基层

人员任务繁重，人民群众致富困难。对于中高风险山区而言，亟待将灾害风险管理能力提升、生态环境改善与特色产业发展相协同，研发出山区致灾风险绿色调控技术、山区生态环境改善技术、区域特色产业发展技术集于一体的灾害风险绿色调控关键技术体系，形成生态措施与工程措施协同、灾害风险综合管理与区域可持续发展协同的绿色可持续发展技术体系与模式，以满足小流域中上游生态环境质量改善提升与特色产业发展、中下游乡村振兴与经济社会可持续发展的需求。

2 山区综合减灾与特色产业发展协同理念

吴传钧院士[15]提出的人地关系地域系统理论，强调地域功能性、系统结构化、时空变异有序过程，以及人地系统效应的差异性及可调控性，成为开展地理格局形成与演变规律综合研究的理论基石。人地协调论是在人地关系地域系统理论基础之上发展而来的，主张分析人与环境间的密切关系，以谋求自然环境与人类生产生活之间的和谐统一。对于灾害中高风险山区而言，各类自然灾害成为制约地方经济社会可持续发展的关键因素，灾、地、人三大要素共同构成区域人地关系地域系统的核心要素。为此，综合考虑灾、地、人三大要素，提出“灾—地—人”绿色协同理论与方法体系，既是人地关系地域系统理论的进一步发展，也更有助于探究灾、地、人三大要素间的协调互馈关系，满足灾害风险绿色调控的现实需求，支撑安全山区、富裕山区和美丽山区建设（图2）。

相对于人地协调论而言，“灾—地—人”绿色协同理论更加强调维系山区灾害风险绿色调控的绿色本源，绿色是山地系统的生命所在，解决山区安全与发展问题的关键在于生态建设和绿色发展。具体而言，针对“灾—地—人”不同对象，可从绿色减灾工程（“灾”要素）、绿色产业发展（“地”要素）和风险综合管理（“人”要素）这3方面促进内外部协同，

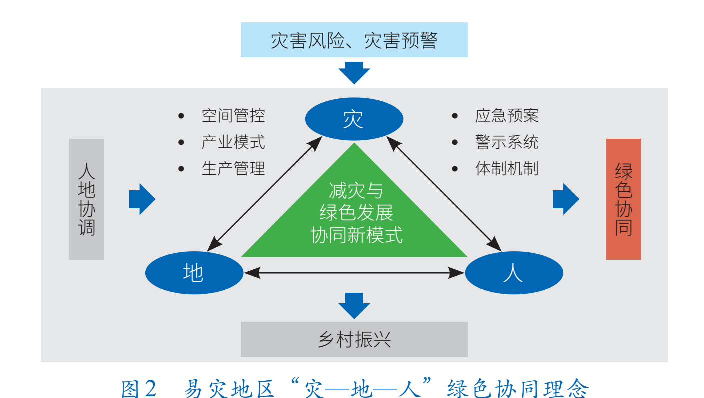


图2 易灾地区“灾—地—人”绿色协同理念

Figure 2 Concept of “Disaster–Environment–Human” synergy theory in disaster prone areas

进而实现综合减灾与产业发展协同的终极目标。① 内部协同。绿色减灾工程强调生态—岩土工程协同治理、监测—预报协同预警，通过系统化的灾害治理工程、监测预警工程、土地整理防护工程等多种途径，实现灾害风险综合调控，新增安全可利用的生产生活空间。绿色产业发展注重各类产业布局空间协同、产业类型协同和保护与开发协同，通过开展绿色产业规划、配套基础设施建设、灾毁迹地可持续开发与利用、构建绿色减灾产业模式体系等，实现产业融合发展。风险综合管理注重各项管理措施间的协同，通过研发多层级、跨部门、多主体共同参与的灾害风险管理体制机制，注重风险信息管理，开展安全社区建设等，提升基层政府的灾害风险管理水平，提升普通民众的灾害感知和应对能力。② 外部协同。强调三者间互促共进，即灾害治理维系绿色产业发展和社区安全，绿色产业发展减少灾害物源和提高经济收入，风险管理提升居民的防灾减灾与绿色发展的意识与能动性（图3）。

3 综合减灾与特色产业发展关键协同技术

3.1 基于综合减灾与产业发展协同理念的国土空间规划编制技术

目前，我国正在努力推行以国土空间规划为引领的国土空间治理能力建设，力争到2025年形成以国土

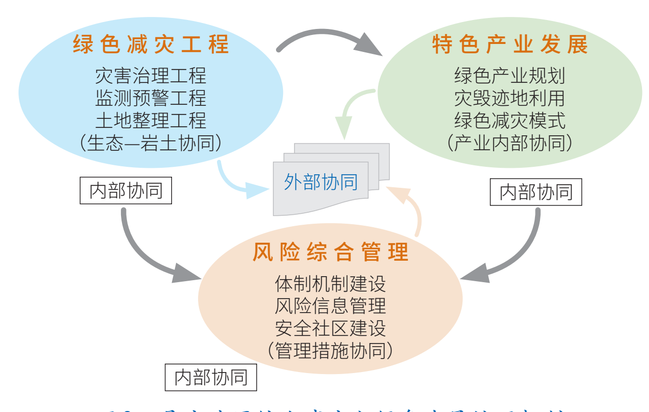


图3　易灾地区综合减灾与绿色发展协同机制

Figure 3　Synergy mechanism between integrated disaster risk reduction and green development in disaster prone areas

空间规划为基础、以统一用途管制为手段的国土空间开发保护制度，实现全国国土空间开发保护“一张图”[16]。对于自然灾害易发多发频发的广大山区而言，亟待在各级国土空间规划编制的全过程中融入综合减灾与产业发展协同理念，不仅需要在“双评价”①中重点考虑自然灾害因素对人居环境建设和经济社会发展的约束，还需要将绿色协同理念贯穿应用至国土“三生空间”②布局、国土空间用途管制、规划用地结构配置等多场景，并科学诊断国土空间开发利用度。该过程涉及的关键技术包括小流域灾害风险评估技术、国土空间开发适宜性评估与优化技术、综合减灾与产业发展协同规划技术、国土空间开发利用度诊断技术等，以便从规划层面保障综合减灾与产业发展协同。

3.2 生态措施与岩土措施协同的绿色减灾工程关键技术与模式

突破已有减灾工程中以岩土措施为主、生态措施为辅的理念，以山区小流域为基本单元，基于生态工程与岩土工程协同的小流域固坡—消能耦合的综合减灾原理，构建“坡面—沟道—流域”跨尺度生态工程与岩土工程协同调控技术与模式（图4）。① 坡面尺度。主要技术与模式包括基于植物和人工构筑物组合拦挡的缓冲消能防护技术、基于乔木根系固土护坡的坡面细沟侵蚀防护技术、抗滑桩/乔木加固边坡优化技术等，有效控制坡面物源进入沟道，实现护坡减沙。② 沟道尺度。形成上游的岩土拦挡工程、中游的阶梯—深潭结构消能系统、下游的植被过滤带生物工程相结合的生态—岩土协同减灾配置模式，减轻沟道侵蚀下切，实现逐级调控消能。③ 流域尺度。灾害形成区以抑制固体物源指数效应为目标，流通区以物质与能量逐级调控为导向，堆积区以均衡输沙、均衡停淤为原则，集成“形成—运动—堆积”不同过程的生态—岩土协同减灾体系，实现小流域致灾风险生态—岩土工程综合防控。

3.3 风险综合管理关键技术与模式

灾害风险综合管理是一项在防灾减灾中至关重要的非工程措施，与上述绿色减灾工程共同构成综合减灾体系，对于保障山区经济社会可持续发展安全、促进区域绿色发展尤为关键。社区是参与防灾减灾救灾最基本的社会单元，可从组织管理能力建设、居民意识能力提升、安全技术保障、基础设施改善和房屋安全设防等方面入手，构建安全社区运行管理模式，推进安全社区建设（图5）。① 组织管理能力建设。内容包括体制机制、应急队伍、应急预案、物资储备等。② 居民意识能力提升。内容包括防灾减灾教育培训、临灾应急演练等。③ 安全保障技术。主要包括应急疏散路线设计与避险场所规划、灾害警示标识牌布局、医疗救护关键技术、虚拟现实技术（VR）模拟灾害场景应用等。④ 基础设施改善。主要包括道路升级改造与养护、应急避难场所建设、社区防护林工程、医疗救护站建设等。⑤ 房屋安全设防。主要包括外墙保护

① “双评价”指资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价。
② “三生空间”指生产空间、生活空间和生态空间。

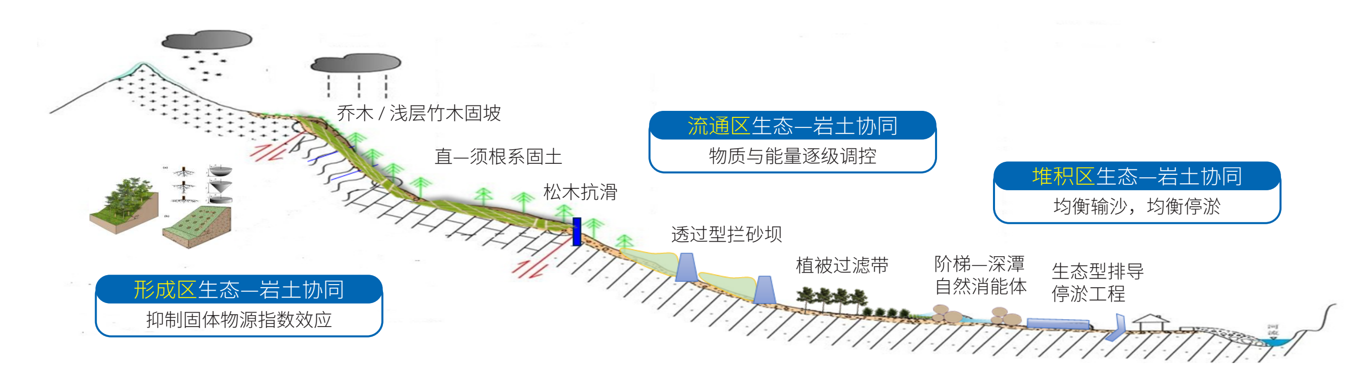


图4 “形成—运动—堆积”不同过程生态—岩土协同减灾技术体系

Figure 4 Disaster risk reduction technology system with synergy of ecological measures and geotechnical engineering measures based on “Formation–Movement–Accumulation” processes of natural disasters

工程、室内安全工程等。

3.4 绿色产业发展关键技术与模式

破除传统行政边界限制，以小流域为基本单元，基于立体地形特征，从产业空间布局、产业类型选择、保护与开发关键技术研发等多方面探究山区绿色产业发展的路径与模式（图6）。各区域的产业布局均需要科学诊断国土空间开发利用的适宜范围和适宜程度，要点在于实现减灾与产业基础设施共建，走产业融合发展道路。① *河谷区是发展特色产业自然禀赋最优良的区域，也是受各类山地灾害影响最严重、最直接的区域*。重点研发以泥石流滩地和冲洪积扇为代表的灾毁迹地的修复与可持续利用关键技术与模式，包括与绿色减灾工程有机结合的土地整理防护技术、土壤修复技术、表土层保水技术、保肥节肥技术等，发展具有地域特色的绿色高效现代农业产业，如粮经复合产业、花卉产业、绿色水产养殖产业等。② *二半山区是多种山地灾害的形成区和流通区，也是梯田台地的主要分布区域，对该区域实行保护与开发并举尤为关键*。建议依托“坡改梯”等土地整治工程项目，倡导横坡耕作综合技术体系，重点发展具备较强固土护坡功能的乔灌类经济林果作物，适度发展圈养型养殖产业，探索以“猪—沼—果”“果—草—畜”“果—药—禽”等为代表的绿色种养循环农业模式。此外，对于森林火灾中高风险山区，还可在二半山区沟道系统内合理选址布局一系列小型塘库系统，以实现防火、灌溉和减灾等多重功效。③ *高山区是泥石流灾害的主要物源区，水源涵养功能关键，同时也是发展生态养殖和林下经济的优良场所*。建议发展适度规模的绿色养殖产业和经济林果产业，研发高山生态保护与修复关键技术，将其打造成保障全流域安全的关键生态屏障。

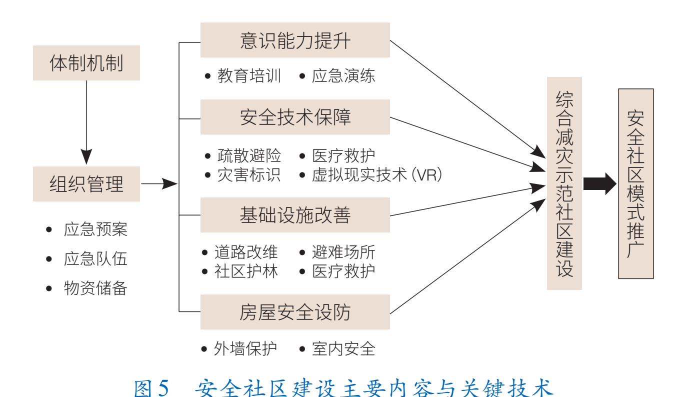


图5 安全社区建设主要内容与关键技术

Figure 5 Main contents and key technologies for construction of safety community

4 综合减灾与产业发展协同模式示范

依托中国科学院A类战略性先导科技专项“美丽中国生态文明建设科技工程”项目“气候变化条件下山地致灾风险绿色调控关键技术与示范”，选取四川

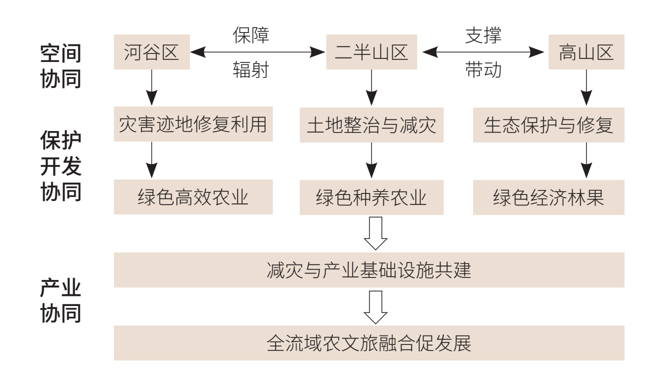


图6　山区小流域绿色产业发展关键技术与模式

Figure 6　Key technologies and synergy modes for green industries development in mountain areas

省凉山彝族自治州喜德县红莫镇热水河小流域为示范区，通过全面摸排该流域防灾减灾与经济社会发展的现状、问题与需求，基于综合减灾与产业发展协同理念，编制了《凉山州喜德县红莫镇热水河小流域减灾与绿色发展示范区建设规划方案（2020—2035年）》，研发了一系列生态—岩土绿色减灾工程技术、安全社区工程技术和绿色产业技术与模式，并全部应用于示范区，力争将其打造成具有较高社会影响力的全国首个综合减灾与特色产业发展协同示范区。

4.1 示范区概况

热水河为安宁河左岸一级支流，主沟长28.08公里，平均纵比降67‰，流域面积163.22平方公里，属低中山地貌类型，整体呈东北高西南低的地势特征（图7a）。流域发育有支沟19条，支沟泥石流非常活跃，每年皆有不同规模的泥石流发生，属典型的高频泥石流沟，对民生安全和基础设施造成严重损害（图8）。该流域主体属于喜德县红莫镇，下辖9个行政村，共有农户2 470余户、合计9 950人，以彝族为主，属于典型的汉彝民族融合区。土地利用类型以林地、草地和耕地为主，分别占52.31%、22.06%和20.70%（图7b），产业以传统农业为主。

4.2 示范目标

通过在热水河小流域内协同开展生态—岩土减灾工程、绿色产业工程和安全社区工程，力争实现防灾减灾效益、经济社会效益和生态环境效益多目标最优。① 防灾减灾效益目标，包括灾害规模减小30%、灾损降低50%以上、高风险区减少40%，工程减灾措施时效延长50%以上，保障流域内外10 000余人的生命财产安全。② 经济社会效益目标，包括新增经济效益1亿元，当地居民收入提高1—2倍，防灾减灾教育培训受益7 000人次以上。③ 生态环境效益目标，包括植被覆盖率提高20%，生态环境功能提升30%以

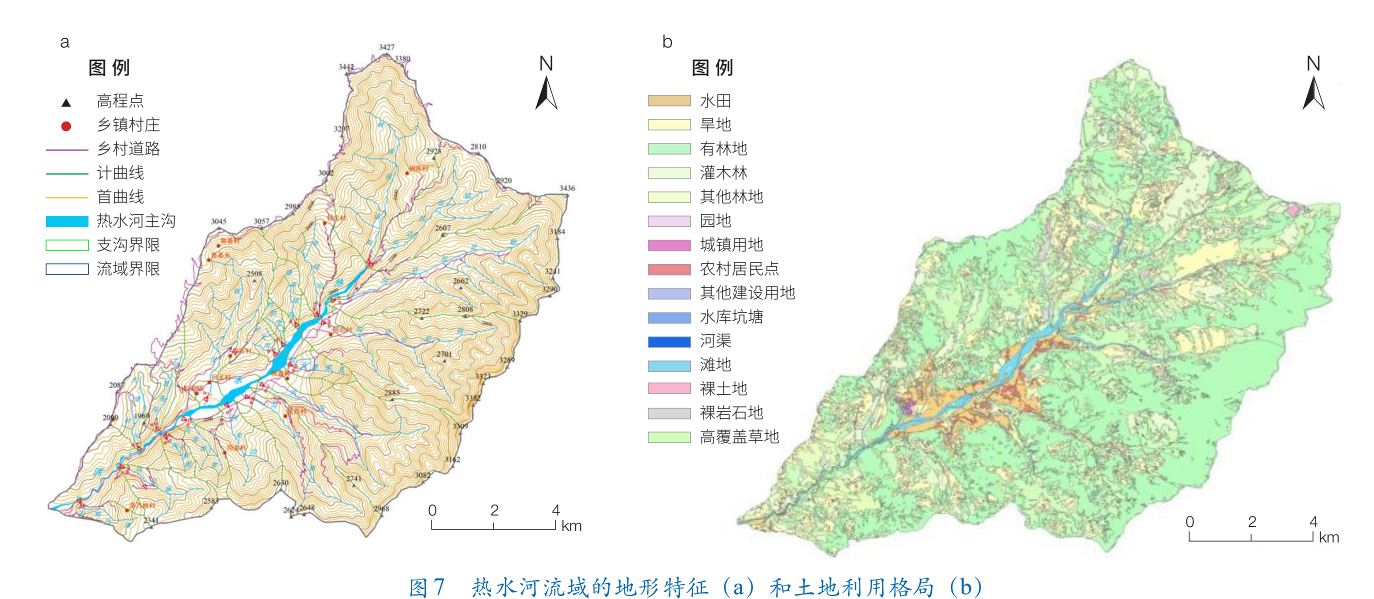


图7　热水河流域的地形特征（a）和土地利用格局（b）

Figure 7　Topographic feature (a) and land use pattern (b) of Reshui River basin



图8　热水河流域活跃的泥石流灾害威胁耕地和居民点安全

Figure 8　Active debris flow disaster in Reshui River basin threatens safety of farmland and residential areas

上，小流域生态环境质量明显提升。

4.3 示范内容

（1）编制综合减灾与绿色发展协同示范区建设规划方案。厘清示范区的“灾—地—人”协调互馈关系，研发基于小流域灾害风险评估技术和国土“三生空间”适宜性评估与优化技术，综合协调生态—岩土工程措施、安全社区建设和绿色产业发展的小流域综合减灾与产业发展协同规划方案，系统解决中高风险山区减灾与发展协同的问题。基于上述技术体系，主要从地质灾害治理工程、监测预警工程、土地整理工程、绿色产业工程、安全社区工程、美丽乡村示范和体制机制建设7个方面对热水河流域进行全域规划，编制《喜德县热水河小流域减灾与绿色发展协同示范区建设规划方案》（图9）。该规划方案已于2021年9月通过喜德县人民政府等多部门专家论证，核心技术与内容被纳入《安宁河流域山水林田湖草生态修复项目实施方案》和《四川省安宁河流域土地整治综合规划（2022—2035）》，引领安宁河流域生态文明建设。

（2）生态—岩土措施协同减灾示范工程。基于对热水河流域19条支沟全面开展山地灾害危险性摸排和评价，分别在流域左右岸筛选出灾害风险最高、治理难度最大的分叉沟和鱼儿沟开展绿色减灾工程示范。① 分叉沟。面积1.13平方公里，针对该流域特点重点开展“阶梯深潭消能系统+生态护坡+防护林组合”的生态—岩土优化配置减灾试验性示范，示范技术包括在上游实施滑坡后缘乔木加固边坡优化技术，在中下游实施21级阶梯深潭消能结构与沟道防护林优化配置技术，在沟道内配置实施了乔灌草生态防护优化配置技术和S型植物坝优化配置模式等（图10a）。② 鱼儿沟。面积9.20平方公里，针对该流域特点采用“源头阻水+调蓄消能+护坡减沙+规流疏导”的治理思路，

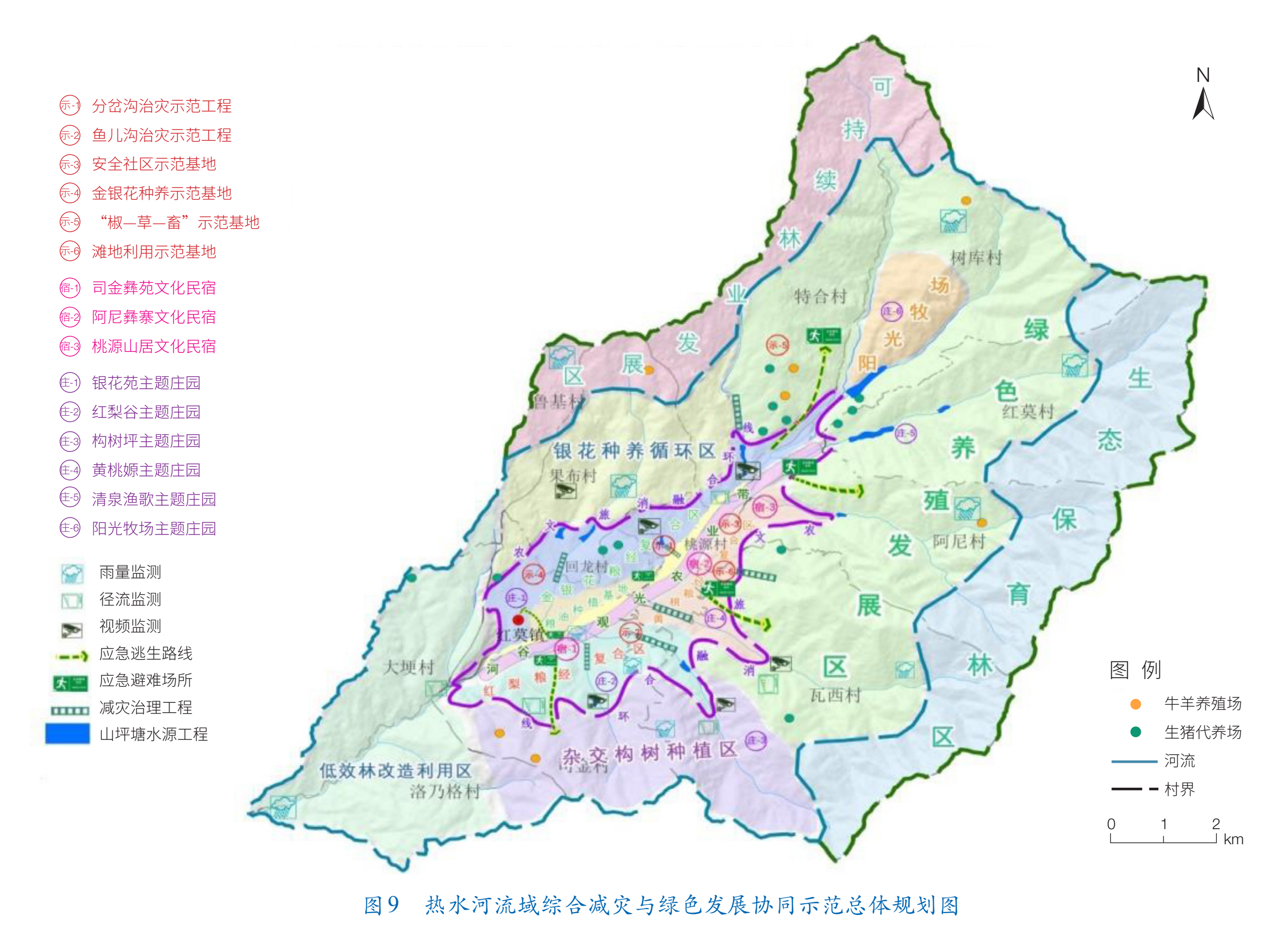


图9　热水河流域综合减灾与绿色发展协同示范总体规划图

Figure 9　Overall plan for synergy of disaster risk reduction and green development in Reshui River basin

重点开展“生物谷坊+透过型拦挡+非对称式排导”组合的生态—岩土协同减灾试验性示范（图10b）。除此之外，引导实施土地整理工程和河道治理工程，有效疏通了热水河主河道，并新增优质耕地780余亩。

（3）绿色产业示范工程。针对该流域灾毁迹地（泥石流滩地和泥石流冲积扇）分布范围广、利用难度大，并造成严重水土流失和景观破坏等突出问题，重点开展了泥石流滩地改良与可持续利用关键技术试验示范、泥石流滩地绿色高效水产养殖关键技术试验示范，泥石流冲积扇“果—草—禽”复合农业模式示范（图11）。① 泥石流滩地改良与可持续利用示范。通过布设多种客土模式，结合引洪淤灌技术，系统解决滩地土壤培育问题；研发植物根系调水技术、高效节水灌溉技术，结合地下水位雍高试验，解决滩地保水问题；基于豆科绿肥间套作模式，结合堆肥技术，解决滩地土壤培肥问题；通过试种果桑、脆李、沃柑、无花果、金银花等多种经济作物和耐淹作物，提升泥石流滩地生态和经济效益。② 滩地绿色高效水产养殖示范。通过协同上游分叉沟治灾工程科学选址养殖基地，结合“鱼+稻（菜）”共生技术、养殖尾水生态化处理技术等，破解安全与控污难题；研发尾水回收利用系统，保障养殖基地的水源问题；引进太阳能清洁能源、打造“特种水产+生态观光”农业模式，保障水产养殖业绿色高质量发展。③ 泥石流冲积扇“果—草—禽”复合农业模式示范。通过布设多种“果—草”间套作模式，促进上游生态保育；研发智能化移动鸡舍和绿色养殖技术，提高避灾能力与生产效率；创新微型农场管理机制，实现生产与管理全过

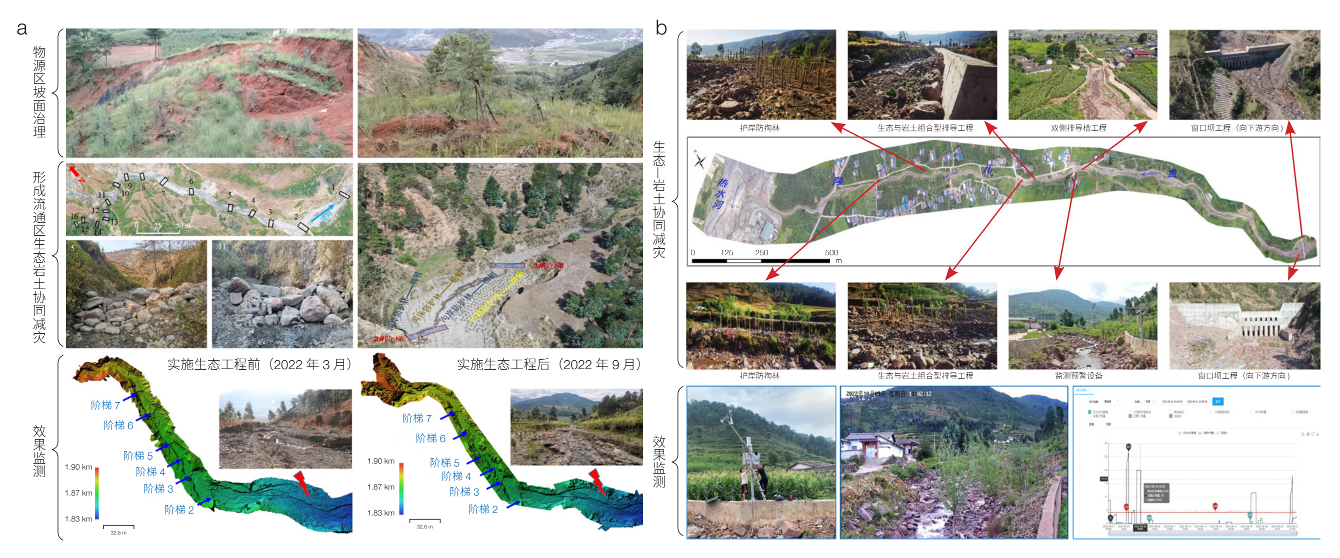


图 10　分叉沟（a）与鱼儿沟（b）生态—岩土协同减灾示范工程

Figure 10　Demonstration of disaster risk reduction technology system with synergy of ecological measures and geotechnical engineering measures in Fenchagou gully (a) and Yuergou gully (b)

程减灾与绿色发展协同。

（4）安全社区示范工程。基于灾害案例分析与社区现状实地调研，识别社区风险管理的关键环节及其瓶颈，研发灾害风险管理关键技术，开展灾害风险教育培训与演练，进而构建安全社区建设模式。重点研发如下关键技术：① 结合地方特色，融入彝族文化元素，设计了独具凉山州特色的灾害标识标牌；② 研发了集灾害科普与临灾疏散指引于一体的“灾害智慧标识互动导视系统”；③ 基于华为移动服务（HMS）生态开发了山地灾害教育培训 VR 场景及“安全圈”应用程序（APP）；④ 通过开发特色课程、编制山地灾害风险教育培训手册、开展特色技能培训与应急演练等多种方式，探索了防灾减灾与安全教育的新途径。上述关键技术示范应用于热水河流域的核心社区桃源



图 11　绿色产业示范工程泥石流滩地改良与可持续利用示范基地（a）与泥石流滩地绿色高效水产养殖示范基地（b）建设现状

Figure 11　Current status of green industry demonstration projects of ecological restoration and sustainable planting on debris flow waste-shoal of Reshuihe River basin (a) and the green aquaculture utilization mode on debris flow waste-shoal of Reshuihe River basin (b)

村，显著提升了当地民众主动防灾减灾意识与能力，集成安全社区建设技术，推动桃源村成功申报国家综合减灾示范社区。

（5）体制机制建设。基于国际防灾减灾趋势和我国最新的防灾减灾战略部署，结合示范区山地灾害风险管理现状，构建了多层级、全过程、多主体参与的山地灾害风险管理机制，研发了多元化灾害风险转移模式，并与中再巨灾风险管理股份有限公司达成灾害保险合作意向。重点构建了以示范社区桃源村为核心基础，喜德县、红莫镇协同指导，企事业共同参与的山地灾害风险管理机制，即围绕社区、乡镇、区县、企事业关注的焦点，从灾前、灾中、灾后3个阶段阐述多元主体参与山地灾害风险管理的主要内容和关键途径（图12）。示范区体制机制的建设实践有助于实现社区灾害风险管理的参与主体多元化、参与方式多样化、参与度和参与能力提升，实现风险管理“自上而下”和“自下而上”的有机结合，有力促进当地防灾减灾。

4.4 示范成效

项目组通过开展热水河小流域减灾与特色产业发展协同示范全域规划，重点实施多项示范工程，显著改变了示范区经济社会发展滞后的面貌，较好实现了预期目标。① 开展重点支沟生态—岩土减灾工程协同示范，结合河岸整治工程构成综合减灾体系，保障了中游宽谷区上千亩耕地安全与10 000余人的生命财产安全，极大降低了灾害风险。② 引导开展土地整理工程新增耕地780亩，新建高标准基本农田1 270亩；协调地方政府和企业落地6项示范工程，总投资超过1亿元。③ 通过研发一系列泥石流灾毁迹地的改良与可持续利用关键技术与模式，实现灾毁迹地的资源化利用，在助推农户增收和带动劳动力本地就业等方面效益显著。④ 通过研发一系列灾害风险管理关键技术、新增多项软硬件基础设施、基于VR开展防灾减灾教育培训和演练活动等，显著提升了基层政府的灾害风险管理水平和社区居民的灾害风险防范意识及应对能力，直接受益超8 000人次。⑤ 综合示范区建设项目被正式确定为安宁河流域土地整治精品工程，示范社区桃源村成功申报国家级综合减灾示范社区，减灾与绿色发展协同理念被正式纳入《安宁河流域山水林田湖草生态修复项目实施方案》和《四川省安宁河流域土地整治综合规划（2022—2035）》，确保示范成果“留得下、推得开”。⑥ 示范区建设成果受到新华社、《四川日报》和《科技日报》专题报道，并得到主流媒体转载，取得了较突出的社会影响。

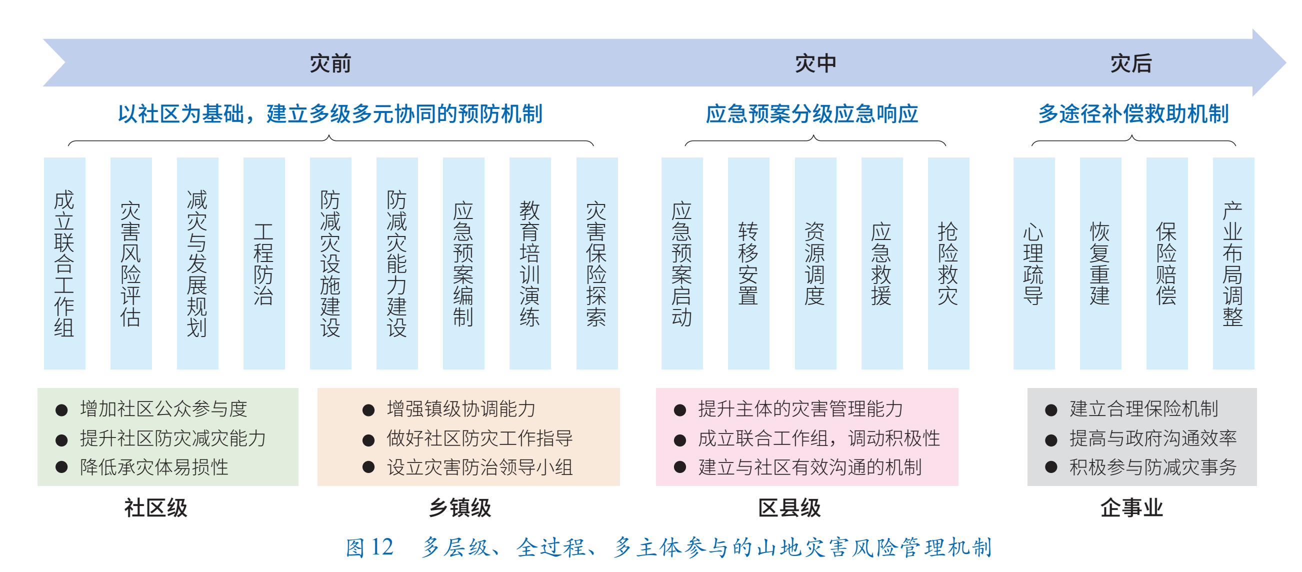


图12 多层级、全过程、多主体参与的山地灾害风险管理机制

Figure 12 Management mechanism of mountain disaster risks with multi-levels of government, full process, and multi-agents participation

5 综合减灾与产业发展协同模式推广

5.1 推广的必要性与可行性分析

（1）现阶段巩固脱贫攻坚成效，助推广大山区同步迈向现代化的迫切需求。尽管我国提前10年完成了联合国2030年可持续发展议程的减贫目标，创造了世界减贫历史奇迹，但防止规模性返贫工作依然任重道远。由于山区自然条件局限和发展基础相对薄弱等因素，相对于平原地区而言，山区发展仍然存在明显差距。破解减灾与发展协同难题、探索创建中国式山区现代化道路、随全国同步实现社会主义现代化，是山区3.3亿人民的美好愿望，同时也是补齐我国发展不平衡不充分问题短板、破解我国当代主要社会矛盾的一项牵动全局的战略举措，对我国实现第二个百年奋斗目标具有重要意义，对全球山区发展也有着重要的引领和示范价值。

（2）贯彻统筹发展和安全理念，提高基层治理能力的客观需求。保安全与促发展是我国经济社会可持续发展长期面临的2项重要任务。习近平总书记高度重视统筹发展与安全问题，围绕发展和安全辩证统一关系发表了一系列重要论述。我国山区长期存在灾害与贫困非良性耦合、减灾与发展未统筹兼顾的问题，这实质上反映出政府各部门之间长期存在的碎片化管理问题和综合治理能力不足。乡村振兴新征程中，迫切需要创新山区综合减灾与产业发展协同模式，以新理念、新模式协同推进山区减灾与绿色发展事业，真正实现除害与兴利并举。

（3）广大山区正在推行的多项重大战略举措，为协同模式推广创造了现实条件。在推进建设美丽中国的主旋律下，践行“两山”理论、推进高质量发展正成为当前广大山区实现绿色跨越的关键举措。乡村振兴战略将产业兴旺、生态宜居作为其5项总要求之首提出，客观上也为易灾山区协同推进减灾与发展事业提供了宽广的前景。广大山区正在推进的以国土空间规划、乡村振兴规划、村庄规划等为代表的一系列规划方案与各类示范村建设工程，均为根植综合减灾与产业发展协同理念与协同模式创造了现实条件。

5.2 协同模式推广建议

山区综合减灾与产业发展协同模式破除了行政边界限制，强调多主体参与和跨部门协同。然而，由于不同区域的自然灾害特征和特色产业发展条件可能存在较大差异，导致减灾与发展协同模式具有较明显的地域性特征。为此，建议分区域、分层次、分批次，按照由点到面再全面铺开的总体方针，有序推广该协同模式。具体而言，可参考中国山洪一级区划成果[17]，按照九大区域在全国山丘区范围内试点推广。协同模式推广过程中，建议重点开展以下4方面工作。① 甄选最优模式。梳理总结各区域现有的减灾与发展协同模式，科学评估各模式的“减灾—社会—经济—生态”综合效益，甄选最优模式，并基于绿色协同新理论研判各模式的短板及其提升策略，明确各模式的适用条件与适宜推广范围。② 编制规划方案。将减灾与绿色发展协同理念深度融入各类规划方案，对于已完成编制主要规划方案的区域，建议补充编制减灾与绿色发展协同示范区建设规划方案。③ 打造示范样板。依托各类示范村建设项目，集成应用各类综合减灾与产业发展协同技术与模式，建设示范样板，促进应用推广。④ 夯实制度保障。构建绿色发展协作机制，形成制度保障。完善省、市、县、镇、社区等多层级政府联动管理和协调机制，构建统筹发展改革、应急管理、自然资源、农业农村、林草、水利等跨部门绿色发展协作机制，统一领导，统一部署，统筹灾害风险防控、特色产业发展、生态文明建设、乡村振兴工程等工作，改变过去“九龙治水”的状态，聚焦一张蓝图，汇聚多方资源，凝心聚力，久久为功，形成科学高效的绿色发展保障机制。

参考文献

1 邓伟, 李爱农, 南希. 中国数字山地图. 北京: 中国地图出版社, 2015.

Deng W, Li A N, Nan X. Digital Mountain Map of China. Beijing: SinoMaps Press, 2015. (in Chinese)

2 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国山地研究与山区发展报告. 成都: 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 2022.

Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. Scientific Report on Mountain Research and Development in China. Chengdu: Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, 2022. (in Chinese)

3 王国敏. 农业自然灾害与农村贫困问题研究. 经济学家, 2005, (3): 55-61.

Wang G M. Research on agricultural natural disasters and rural poverty. Economist, 2005, (3): 55-61. (in Chinese)

4 陈国阶. 中国山区发展报告. 北京: 商务印书馆, 2004.

Chen G J. Report on Mountainous Regional Development in China. Beijing: Commercial Press, 2004. (in Chinese)

5 崔鹏. 中国山地灾害研究进展与未来应关注的科学问题. 地理科学进展, 2014, 33(2): 145-152.

Cui P. Progress and prospects in research on mountain hazards in China. Progress in Geography, 2014, 33(2): 145-152. (in Chinese)

6 崔鹏, 吴圣楠, 雷雨, 等. "一带一路"区域自然灾害风险协同管理模式. 科技导报, 2020, 38(16): 35-44.

Cui P, Wu S N, Lei Y, et al. Disaster risk management pattern along the Belt and Road regions. Science and Technology Review, 2020, 38(16): 35-44. (in Chinese)

7 崔鹏, 张国涛, 王姣. 中国防灾减灾10年回顾与展望. 科技导报, 2023, 41(1): 7-13.

Cui P, Zhang G T, Wang J. Ten years of disaster prevention and mitigation in China: A review. Science and Technology Review, 2023, 41(1): 7-13. (in Chinese)

8 史培军, 汪明, 胡小兵, 等. 社会—生态系统综合风险防范的凝聚力模式. 地理学报, 2014, 69(6): 863-876.

Shi P J, Wang M, Hu X B, et al. Integrated risk governance consilience mode of social-ecological systems. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(6): 863-876. (in Chinese)

9 文安邦, 汤青, 欧阳朝军, 等. 中国山地保护与山区发展: 回顾与展望. 中国科学院院刊, 2023, 38(3): 376-384. (in Chinese)

Wen A B, Tang Q, Ouyang C J, et al. Mountain protection and mountain development in China: Review and prospect. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(3): 376-384. (in Chinese)

10 董银红, 张惠敏. 民族地区因灾返贫风险防范与应急管理能力提升. 中南民族大学学报(人文社会科学版), 2022, 42(5): 134-140.

Dong Y H, Zhang H M. Improvement of risk prevention and emergency management capabilities for returning to poverty due to disasters in ethnic regions. Joumal of South-Central Minzu University (Humanities and Social Sciences), 2022, 42(5): 134-140. (in Chinese)

11 商兆奎, 邵侃. 减灾与减贫的作用机理、实践失位及其因应. 华南农业大学学报(社会科学版), 2018, 17(5): 24-31.

Shang Z K, Shao K. Disaster reduction and poverty alleviation: Interactive mechanism, practical dislocation and countermeasures. Journal of South China Agricultural University (Social Sciences Edition), 2018, 17(5): 24-31. (in Chinese)

12 史培军, 宋长青, 程昌秀. 地理协同论——从理解"人—地关系"到设计"人—地协同". 地理学报, 2019, 74(1): 3-15.

Shi P J, Song C Q, Chen C X. Geographical synergetics: From understanding human-environment relationship to designing human-environment synergy. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(1): 3-15. (in Chinese)

13 胡小兵, 史培军, 汪明, 等. 凝聚度——描述与测度社会生态系统抗干扰能力的一种新特性. 中国科学(信息科学), 2014, 44(11): 1467-1481. (in Chinese)

Hu X B, Shi P J, Wang M, et al. Consilience degree a new network property to evaluate system's performance against disturbances. Science China (Information Sciences), 2014, 44(11): 1467-1481. (in Chinese)

14 Fan X M, Scaringi G, Korup O, et al. Earthquake-induced chains of geologic hazards: Patterns, mechanisms, and impacts. Reviews of Geophysics, 2019, 57(2): 421-503.

15 吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统. 经济地理, 1991, 11(3): 1-6.

Wu C J. Man-earth areal system: The core of geographical study. Economic Geography, 1991, 11(3): 1-6. (in Chinese)

16 李满春, 陈振杰, 周琛, 等. 面向"一张图"的国土空间规划数据库研究. 中国土地科学, 2020, 34(5): 69-75.

Li M C, Chen Z J, Zhou C, et al. "One Map" oriented database investigation for territorial space planning. China Land Science, 2020, 34(5): 69-75. (in Chinese)

17 陈跃红, 徐聪聪, 张晓祥, 等. 中国山洪区划研究. 地理学报, 2023, 78(5): 1059-1073.

Chen Y H, Xu C C, Zhang X X, et al. Regionalization of flash floods in China. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(5): 1059-1073. (in Chinese)

Synthetical solution of disaster risk reduction and green development: A novel mode promoting high-quality development in mountain areas of China

LI Ming[1] LIU Qin[1] WANG Yukuan[1] CUI Peng[2,3*] GAO Xing[2] DI Baofeng[4] LIU Jinfeng[1] QI Shengwen[5]
CHEN Rong[1] TAN Chunping[4] XU Mengzhen[6] SUN Hao[1] ZHANG Jianqiang[1] CHEN Jiangang[1] ZOU Qiang[1]

（1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610299, China;
2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3 China—Pakistan Joint Research Center on Earth Sciences, Chengdu 610299, China;
4 Institute for Disaster Management and Reconstruction, Sichuan University—The Hong Kong Polytechnic University, Chengdu 610207, China;
5 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
6 Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China）

Abstract China is a mountainous country, with hills, mountains, and plateaus cover about two-thirds of its total land area. The vast area, huge population, rich natural resources, and great potential of development in mountain areas make them the most important "rear garden" supporting the sustainable development of the whole country. Nevertheless, China's mountain areas are also prone to various kinds of natural disasters, and thus formed a scenario of high overlap between the high-risk zone of natural disasters and the lagging zone of social and economic development. And such scenario has caused significant waste of various related inputs, and becoming a key obstacle to the goal of modernization for mountain areas in sync with other regions by 2035. Based on a systematic analysis of main challenges faced by disaster risk reduction and green development in mountain areas, the study innovates the "Disaster–Environment–Human" green synergy theory based on the human and environment harmonization theory. After that, a novel synergy mode of disaster risk reduction and green development is proposed, and its synergy mechanisms, main synergy paths, and various synergy technologies are analyzed. The synergy theory and mode were applied in a demonstration zone named Reshui River basin located in Xide County, Liangshan Yi Autonomous Prefecture, Sichuan Province, the first demonstration zone of the synergy mode of

*Corresponding author

disaster risk reduction and green development in China. Finally, the feasibility and the specific paths of promoting the synergism mode are analyzed in mountain areas nationwide. This study can not only guide the consolidation of poverty alleviation achievements, promote the practice of rural revitalization strategy, but also help to improve the capability of comprehensive governance and promote the modernization progress in mountain areas of China.

Keywords mountain areas, disaster risk reduction, ecological disaster mitigation measures, poverty alleviation, sustainable development

李 明 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所助理研究员。主要从事易灾地区可持续发展研究工作。E-mail: liming@imde.ac.cn

LI Ming Assistant Professor of Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences (CAS). He mainly engages in research on disaster risk reduction and sustainable development in disaster prone areas. E-mail: liming@imde.ac.cn

崔 鹏 中国科学院院士，中国科学院地理科学与资源研究所研究员。长期从事山地灾害理论与减灾技术研究工作。E-mail: pengcui@imde.ac.cn

CUI Peng Academician of Chinese Academy of Sciences, Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS). He has long been engaged in research on the theory of mountain disasters and technology of disaster risk reduction. E-mail: pengcui@imde.ac.cn

■责任编辑：文彦杰